

Управление микромагнитными структурами при помощи электрического поля

Мешков Г.А.,

студент,

Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова

Потребности современной техники стимулируют исследование материалов с новыми свойствами или с сочетаниями различных свойств. Такими веществами, например, являются магнитоэлектрики – вещества, в которых возникает намагниченность при приложении электрического поля и электрическая поляризация при приложении магнитного поля.

Магнитоэлектрический эффект может найти широкое применение в устройствах спинтроники, магнитной памяти и сенсорной технике. Управление магнитными образованиями с помощью электрического поля открывает новые возможности – создание технологически простых емкостных головок записи и считывания, имеющих низкое энергопотребление, вместо катушек индуктивности, которые сложны в изготовлении и требуют больших затрат энергии.

Кроме того, магнитоэлектрический эффект представляет фундаментальный научный интерес, поскольку наблюдается в средах с одновременным нарушением пространственной и временной четности. Наряду с однородным магнитоэлектрическим эффектом в таких средах может существовать неоднородный магнитоэлектрический эффект, проявляющийся в возникновении пространственно модулированных спиновых структур, а также взаимосвязи магнитных и электрических неоднородностей в магнитоэлектрических материалах. Так, в работе [1] было показано, что в магнитоэлектриках, обладающих одновременно ферромагнитными и сегнетоэлектрическими свойствами, наблюдается влияние магнитных и электрических доменов друг на друга. Влияние электрического поля на магнитную структуру в тонких пленках феррит-гранатов также косвенно подтверждено в работе [2].

Таким образом, исследование влияния электрического поля на магнитные неоднородности в магнитоэлектрических материалах представляется перспективным и с практической, и с фундаментальной точки зрения.

Примером магнитных неоднородностей в магнитоэлектриках являются *вертикальные блоховские линии (ВБЛ)* – топологические возмущения в доменных границах. На их основе возможно создание устройств памяти, поэтому особый интерес представляет возможность управления линиями Блоха при помощи электрического поля. Такое управление может быть осуществлено с применением неоднородного магнитоэлектрического эффекта.

Для выяснения электрических свойств ВБЛ было произведено численное моделирование распределения ее электрического заряда в магнитоэлектрическом материале. Неоднородный магнитоэлектрический эффект описывается формулой

$$P = \gamma \chi [M(\nabla M) - (M\nabla)M],$$
 где M – вектор

намагниченности, P – поляризация, χ – диэлектрическая восприимчивость, γ – константа неоднородного магнитоэлектрического взаимодействия.

Распределения намагниченности ВБЛ в полярных координатах:

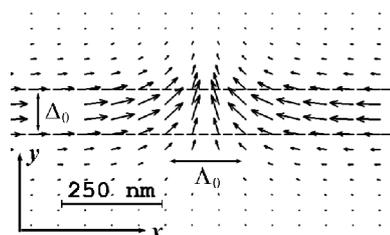


Рис. 1

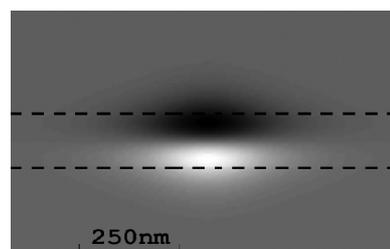


Рис. 2

$\theta(y) = 2 * \arctg(\exp(y/\Delta_0))$; $\varphi(x) = 2 * \arctg(\exp(x/\Lambda_0))$, где Δ_0 – ширина доменной стенки, Λ_0 - эффективная ширина ВБЛ (рис. 1). Расчет показал, что в магнитоэлектрике вертикальной блоховской линии соответствует электрический диполь (рис. 2). Таким образом, управление ВБЛ можно осуществлять при помощи электрического поля. Также был проведен аналитический расчет эффективного магнитного поля, действующего на ВБЛ в магнитоэлектрике, к которому приложено электрическое поле. Создана программа, позволяющая визуализировать изменение магнитной структуры ВБЛ, происходящее под действием этого поля.

На основании результатов численного моделирования была разработана схема эксперимента, позволяющего обнаружить влияние электрического поля на ВБЛ. В качестве образца была выбрана пленка феррит-граната (BiTm)₃(FeGa)₅O₁₂ толщиной 10 мкм на подложке Gd₃Ga₅O₁₂ (111). Наблюдение доменной структуры и ВБЛ производилось поляризационным методом в темном поле, результаты фиксировались при помощи видеокамеры, подключенной к ЭВМ. Для создания электрического поля вблизи поверхности образца использовалась медная игла с радиусом кривизны острия 4 мкм. На нее подавалось напряжение 1-2 кВ относительно второго электрода, который был нанесен на подложку. Фиксировалось распределение намагниченности до и после включения электрического поля.

Опыты показали, что при включении электрического поля ВБЛ меняют свое положение. Причем наблюдается соответствие направления движения ВБЛ в электрическом поле и σ -заряда ВБЛ. Эффект также наблюдался в дистанционном режиме, когда игла находилась не непосредственно над ВБЛ, а на некотором отдалении, что позволяет исключить влияние на движение ВБЛ эффекта магнитострикции (возникающего при механическом давлении острия иглы на поверхность образца) и намагниченных частиц феррит-граната на поверхности образца. Чтобы убедиться в отсутствии паразитных токов, производились непосредственные измерения с помощью амперметра. Таким образом, экспериментальное исследование частично подтвердило теоретически предсказанную возможность управления микромагнитными структурами при помощи электрического поля. Если удастся добиться контролируемого перемещения отдельных ВБЛ электрическим полем, то откроются новые возможности создания устройств долговременной памяти на ВБЛ, которые и по простоте изготовления, и по энергопотреблению будут превосходить существующие устройства магнитной памяти.

Работа проводится при поддержке гранта РФФИ 05_02_16997-а.

Литература:

1. M. Fiebig, Th. Lottermoser, D. Fröhlich, A. V. Goltsev, R. V. Pisarev, Nature 419 (2002) 818
2. V. E. Koronovskyy, S. M. Ryabchenko, V. F. Kovalenko, Phys. Rev. B, 71 (2005) 172402